

西藏铁格隆南超大型浅成低温热液铜(金、银)矿床的形成时代及其地质意义

方 向¹⁾, 唐菊兴^{2)*}, 宋 杨²⁾, 杨 超²⁾, 丁 帅¹⁾, 王艺云¹⁾, 王 勤¹⁾,
孙兴国³⁾, 李玉彬⁴⁾, 卫鲁杰⁴⁾, 张 志¹⁾, 杨欢欢¹⁾, 高 轲¹⁾, 唐 攀¹⁾

1)成都理工大学, 四川成都 610059; 2)中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3)西藏金龙矿业股份有限公司, 西藏拉萨 850000;

4)西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队, 青海格尔木 816000

摘 要: 铁格隆南(荣那)矿床位于西藏班公湖—怒江成矿带西段的多龙整装勘查区内, 是西藏首例超大规模的浅成低温热液-斑岩型 Cu(Au、Ag)矿床。目前, 矿床的勘查工作和科学研究正同时展开, 本文采用锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 同位素定年技术, 结合系统的钻孔地质编录, 对编录中新发现的含矿石英闪长玢岩和辉钼矿进行了高精度同位素测年。石英闪长玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 模式年龄为(120.2±1.0) Ma; 辉钼矿 Re-Os 同位素测年的模式年龄分布在 117.8~119.4 Ma 范围内, 平均模式年龄为(118.5±0.8) Ma, 等时线年龄为(119.0±1.4) Ma(MSWD=0.34)。成岩成矿年龄近于一致, 成矿略晚于成岩年龄, 表明二者属于同一斑岩-浅成低温热液成矿系统。辉钼矿 ¹⁸⁷Re 的含量分布于 230.47~1226.6 μg/g, 指示成矿物质具幔源特征, 暗示铁格隆南巨量金属物质的聚集可能与壳幔边界岩浆作用有关。对比研究表明, 铁格隆南成矿作用与多不杂、波龙铜(金)矿床一同受控于统一的构造-岩浆成矿系统, 该系统的形成无疑与早白垩世班公湖—怒江洋盆向北俯冲有关。

关键词: 斑岩型; 浅成低温热液型; 同位素年代学; 班—怒成矿带; 铁格隆南; 西藏

中图分类号: P618.401; P597.3 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2015.02.05

Formation Epoch of the South Tiegelong Supelarge Epithermal Cu (Au-Ag) Deposit in Tibet and Its Geological Implications

FANG Xiang¹⁾, TANG Ju-xing^{2)*}, SONG Yang²⁾, YANG Chao²⁾, DING Shuai¹⁾, WANG Yi-yun¹⁾,
WANG Qin¹⁾, SUN Xing-guo³⁾, LI Yu-bin⁴⁾, WEI Lu-jie⁴⁾, ZHANG Zhi¹⁾, YANG Huan-huan¹⁾,
GAO Ke¹⁾, TANG Pan¹⁾

1) College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059;

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) Golden Dragon Mining Co., Ltd., Lhasa, Tibet 850000;

4) No. 5 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Golmud, Qinghai 816000

Abstract: The South Tiegelong (Rongna) deposit, the first superlarge epithermal porphyry Cu (Au, Ag) deposit discovered in Tibet, is situated in the Duolong ore district along the west segment of the Bangong Co–Nujiang River metallogenic belt of Tibet. Both the exploration work and the scientific study of this deposit are being carried out at present. In combination with scientific geological logging, the authors applied the zircon U-Pb and molybdenite Re-Os isotopic dating to the newly found mineral-bearing quartz diorite porphyry and molybdenite. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the porphyry yielded a petrogenic age of (120.2±1.0) Ma, and the Re-Os

本文由国家“973”项目(编号: 2011CB403103)、青藏专项(编号: 1212010818089)及中铝资源西藏金龙矿业股份有限公司项目(编号: XZJL-2013-JS03)联合资助。

收稿日期: 2014-08-15; 改回日期: 2014-10-31。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 方向, 男, 1990 年生。硕士研究生。主要从事矿床地球化学研究。E-mail: francisfx@126.com。

*通讯作者: 唐菊兴, 男, 1964 年生。研究员, 博士生导师。主要从事矿床学和固体矿产勘查与评价研究。E-mail: tangjuxing@126.com。

isotopic model ages of molybdenite are distributed in the range of 117.8~119.4 Ma, which vary limitedly with an average model age of (118.45 ± 0.76) Ma. The Re-Os isochron age is (119.0 ± 1.4) Ma (MSWD=0.34). The petrogenic age and the metallogenic age are very close to each other, with the metallogenic age slightly later than the petrogenic age, which indicates that the rock-forming process and the ore-forming process belonged to the same porphyry-epithermal metallogenic system. The values of ^{187}Re , ranging from 230.47 to 1226.6 ($\mu\text{g/g}$), imply that ore-forming materials were derived from the mantle and the aggregation of the massive metal materials was probably related to the magmatism which happened along the boundary between the mantle and the crust. A comparative study reveals that the mineralization of the South Tiegelong deposit was controlled by the same tectonomagmatic metallogenic system as that of the Duobuza and Bolong porphyry copper-gold deposit. The formation of this system was undoubtedly related to the northward subduction of the Bangonghu–Nujiang Ocean Basin in Early Cretaceous.

Key words: porphyry type; epithermal type; isotope chronology; Bangonghu–Nujiang metallogenic belt; South Tiegelong; Tibet

巨型斑岩铜矿带的发育,是青藏高原最显著的成矿特征。然而,令人困惑的是,与国外其他著名斑岩成矿带相比,西藏长期以来没有发现具有一定规模的浅成低温热液矿床。直到2014年,唐菊兴等(2014)提出位于西藏班公湖—怒江成矿带西段多龙矿集区内的铁格隆南属于超大规模的浅成低温热液型铜(金、银)矿床,像这样在斑岩铜矿区内出现巨量浅成低温矿化的现象在西藏尚属首例,这一发现也引起了地质学家们的高度关注。

多龙斑岩型铜(金)矿集区是近几年西藏班公湖—怒江成矿带最为瞩目的找矿发现,2013年随着铁格隆南超大型Cu(Au、Ag)矿床的找矿突破($\text{Cu} > 500 \text{ Mt}$, $\text{Au} > 50 \text{ t}$, $\text{Ag} > 900 \text{ t}$),目前矿集区内已控制铜资源量超过1600万吨,铜远景资源量可观。专家指出,这一地区10年的找矿前景有望达3000万吨铜以及1000吨伴生金的规模。要实现这样的目标,正确的找矿理论认识必不可少。但由于多龙矿集区发现时间短,整体研究程度较低,前人只对区内早期发现的矿床进行了较详细的研究(李光明等,2007;李玉彬等,2012; Li et al., 2014)。并且铁格隆南矿床2013年才被发现,研究工作还处于起步阶段,许多关键性科学问题尚不清楚。鉴于此,本文在指导矿产勘查工作的同时,对铁格隆南矿床典型岩心开展了综合科学编录,对新发现的含石英闪长玢岩和辉钼矿进行了高精度同位素测年,以期厘清矿床成岩成矿时代、成岩与成矿关系,追溯成矿物质来源,并结合前人资料,探讨其形成的地球动力学背景,旨在为多龙地区区域找矿和铁格隆南矿床下一步勘查部署提供进一步的理论依据。

铁格隆南铜(金、银)矿床位于改则县北西约120 km的多龙矿集区内,区内包括多不杂(超大型)、波龙(超大型)、铁格隆南(超大型)、拿若、尕尔勤等多处矿床(点)。大地构造位置处于羌塘地体南缘,班公湖—怒江缝合带西段北侧(图1)。班公湖

—怒江缝合带横贯青藏高原中部,东西延伸长逾2000 km,是一条巨型缝合带,由蛇绿混杂岩组成,是公认的分隔拉萨地体和羌塘地体的主缝合线(Girardeau et al., 1984; Pan et al., 2012; Metcalfe, 2013)。而该缝合带的构造演化历史,至今尚无定论。归纳起来有:(1)洋内俯冲带复合说: Srimal(1986)和Matte等(1996)认为该缝合带是由多条洋内俯冲带复合而成;(2)单向俯冲说: 班公湖—怒江洋盆在三叠纪打开,早侏罗世扩张成深海洋盆,晚侏罗世开始向北(Kapp et al., 2003; Ding et al., 2003)或向南(Hsü et al., 1995)俯冲消减;(3)双向俯冲说: 缝合带经历了晚三叠世—早侏罗世向北俯冲、中晚侏罗世早期—早白垩世向北、向南双向俯冲、晚白垩世碰撞缝合3个俯冲消亡阶段(朱弟成等,2006;耿全如等,2011)。此外,任纪舜等(2004)认为班—怒带形成于晚二叠世—早三叠世的特提斯洋。但大多数学者认为多龙地区成矿作用与班公湖—怒江洋盆向北俯冲消减作用有关。

多龙矿集区内出露地层有上三叠统日干配组 T_3r 灰岩、中下侏罗统色哇组 J_{1-2s} 长石石英砂岩、岩屑砂岩、泥质板岩、下侏罗统曲色组 J_1q 砂岩、粉砂岩。最近的地质填图发现,矿集区内以往认为的侏罗系曲色组、色哇组地层单元,实际上是由具复理石特征的细碎屑岩,夹大小不等的玄武岩、安山玄武岩、灰岩、硅质岩、辉长岩和超基性岩块体的增生杂岩带,因此,耿全如等(2012)将多龙矿集区的成矿背景定位为增生弧,命名为扎普—多不杂岩浆弧。区内岩浆作用有: 早白垩纪安山岩、安山玢岩以及石英闪长玢岩、花岗斑岩、花岗闪长斑岩等浅成侵入岩,形成由侵入、喷发到喷溢的岩浆活动序列。渐新统康托组 E_3k 紫红色砂砾岩不整合覆于中生代地层之上。

区内断裂构造显著,主要发育有三组: 早期近东西向断裂构造F1、F2、F3; 后期北东向断裂F8、

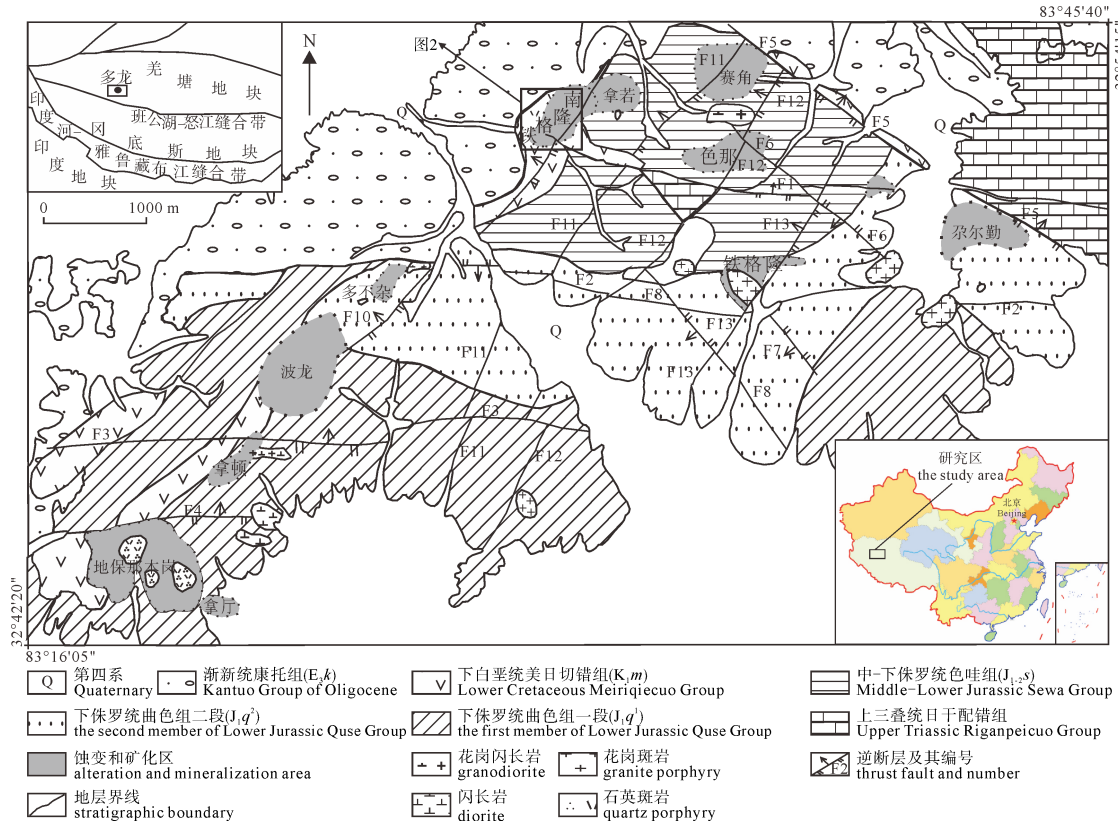


图 1 多龙矿集区地质图(据段志明等, 2013 改绘)

Fig. 1 Geological map of the Duolong ore concentration area (modified after DUAN et al., 2013)

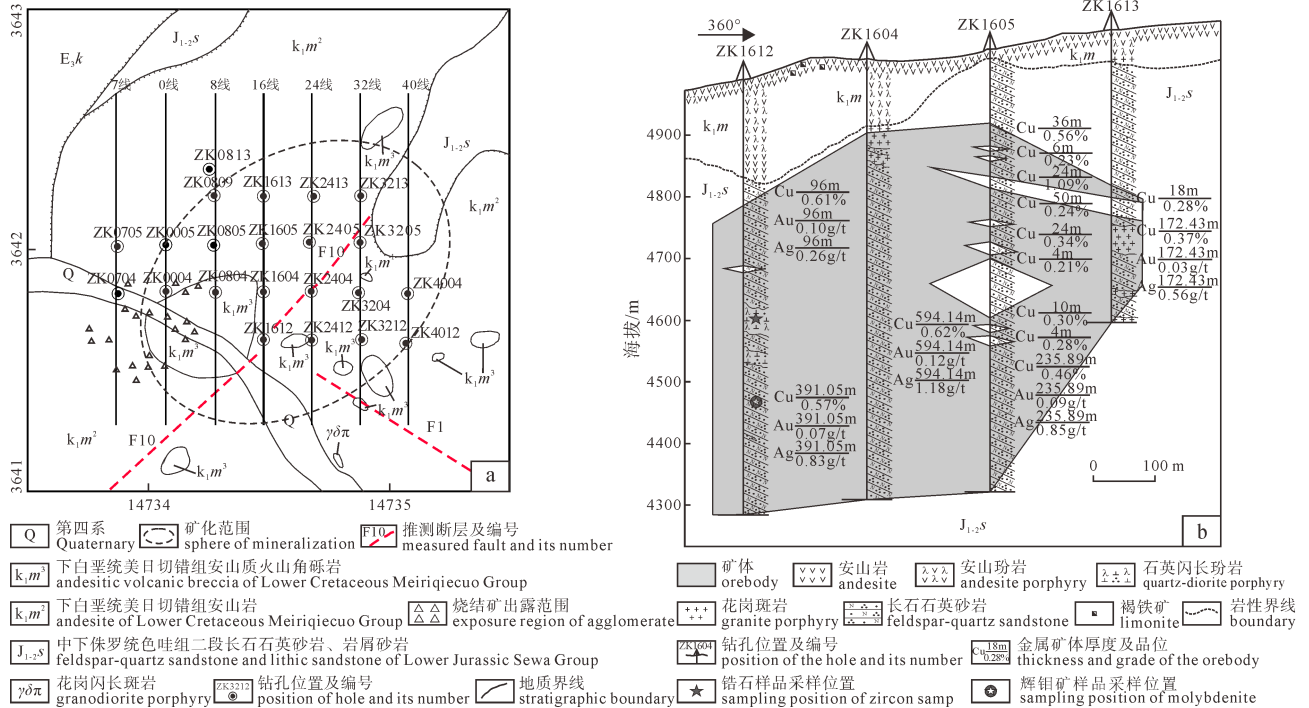


图 2 铁格隆南矿区地质图(a)及 16 号勘探线剖面(b)(据中国地质科学院矿产资源研究所, 2014)

Fig. 2 Geological map of the South Tiegelong ore district (a) showing cross section along No. 16 exploration line(b) (modified after Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 2014)

F10、F11、F12、F13; 晚期北西向断裂 F4、F5、F6、F7。几组构造呈似菱形格架(图 1), 其中北东向断裂为主要的控岩构造, 多数含矿斑岩体沿该断裂呈串珠状产出。

1 矿床地质特征

铁格隆南位于多龙矿集区内北部(图 1), 主要出露地层有早中侏罗统色哇组($J_{1-2}s$)复理石或类复

理石沉积、下白垩统美日切错组(K_1m)陆相中基性火山岩建造、渐新统康托组(E_3k)河湖相碎屑岩沉积(图2a)。侏罗系色哇组长石石英砂岩和岩屑砂岩构成矿化的主要围岩。

矿化以 Cu 矿化为主, 细脉浸染状、星散-稠密浸染状、脉状构造; 矿石结构以充填、交代作用形成的结构为主, 发育固溶体分离结构, 主要伴生元素为 Au、Ag。矿体总体呈北东向展布, 已控制矿体长约 1400 m, 宽约 800 m, 主要赋存于长石石英砂岩、石英闪长玢岩以及花岗闪长斑岩中; 剖面上为中间厚, 两端逐渐变薄的漏斗状(图 2b)。金属矿物有黄铁矿、硫砷铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、黄铜矿、黝铜矿、辉钼矿等, 顶部为赤铁矿、褐铁矿等金属氧化物。副矿物有磷灰石、锆石、金红石等。

蚀变主要有地开石化、高岭石化、明矾石化、绢云母化、硅化等。根据详细的地质编录, 由矿床深部至浅部蚀变分带依次为石英-绢云母-地开石化

-高岭石带、明矾石-地开石-高岭石化带、地开石-高岭石化带。该蚀变分带特征与我国紫金山高硫型浅成低温热液铜-金矿床蚀变分带具有明显的相似性(张德全等, 1991; 王少怀等, 2009), 且该类蚀变矿物组合在高硫型浅成低温热液矿床中亦较为常见(Hedenquist et al., 1994; Sillitoe et al., 2003)。

侵入岩主要为花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩, 两者均未出露地表, 仅在钻孔中出现。花岗闪长斑岩主要见于 8 线-40 线南东侧钻孔内, 如 ZK1604、ZK3212 等, 呈灰白色, 具斑状结构, 块状构造。斑晶以长石、石英、角闪石为主, 基质为长英质。石英闪长玢岩主见于 7 线、16 线南侧等钻孔内, 如 ZK1612 等, 灰白色, 斑状结构, 块状构造。斑晶成分主要为石英、斜长石、角闪石, 基质成分为微晶长石、石英及角闪石等。

2 样品采集和分析方法

2.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

本次用于 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试的样品采自矿区 ZK1612 内 373 m 处的含矿石英闪长玢岩(图 2b)。样品新鲜, 但矿化蚀变较强(图 3)。样品破碎和锆石挑选由廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成, 后将锆石样品置于环氧树脂中, 磨蚀抛光至锆石核心出露并进行阴极发光(CL)显微照相。在此基础上观察锆石的内部结构, 避开包裹体和裂隙进行选点。锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成, 详细流程及原理参见侯可军等(2009)。数据处理采用 Isplot 程序。

2.2 辉钼矿 Re-Os 测年

用于辉钼矿 Re-Os 测试样品共 5 件, 采自钻孔岩心, 均为细脉状辉钼矿样品, 具体位置见表 1。在室内无污染环境下, 将样品放置双目镜下手工挑选出辉钼矿单矿物, 辉钼矿纯度达 98%以上。同位素测定在中国地质科学院国家地质测试中心 Re-Os 同位素实验室完成, 采用电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定, 样品的化学处理流程和

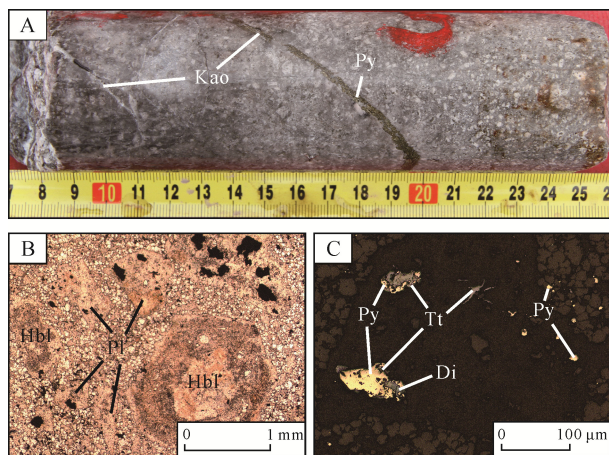


图 3 铁格隆南矿区石英闪长玢岩岩相学及矿石特征

Fig. 3 Petrographic and ore characteristics of the South Tiegelong copper (gold-silver) deposit

A-ZK1612-373.52 m, 石英闪长玢岩; B-ZK1612-373.52 m, 斜长石、角闪石斑晶, 可见粘土化蚀变; C-ZK1612-373.52 m, 蓝辉铜矿、黝铜矿交代黄铁矿; Pl-斜长石; Hbl-角闪石; Kao-高岭石;

Py-黄铁矿; Di-蓝辉铜矿; Tt-黝铜矿

A-ZK1612-368.01 m, quartz diorite porphyry; B-ZK1612-373.52 m, phenocrysts of plagioclase and hornblende, with visible argillic alteration; C-ZK1612-373.52 m, digenite and tetrahedrite replacing pyrite; Pl-plagioclase; Hbl-hornblende; Kao-kaolinite; Py-pyrite; Di-digenite; Tt-tetrahedrite

表 1 铁格隆南辉钼矿 Re-Os 同位素测年结果

Table 1 Re-Os isotopic analyses of molybdenite from the South Tiegelong deposit

样品号	采样位置/m	样重/mg	Re/($\mu\text{g/g}$)		C($\text{Os}_{\text{#}}$)/(ng/g)		$^{187}\text{Re}/(\mu\text{g/g})$		$^{187}\text{Os}/(\text{ng/g})$		模式年龄/Ma	
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
RNZK2404	1004.4	2.32	366.7	3.4	1.2172	0.30	230.47	2.13	452.68	3.6	117.8	1.7
RNZK1612	490.9	2.18	1952	24	0.0719	0.89	1226.60	15.05	2441.45	27	119.4	2.2
RNZK2405-1	318.9	2.19	397.7	2.8	2.0564	0.08	238.67	1.79	471.73	4.0	118.5	1.6
RNZK2405-2	705.77	2.19	879.4	6.5	0.0725	0.33	552.72	4.07	1092.52	10	118.5	1.7
RNZK2405-3	730.68	2.26	986.9	7.3	0.4319	0.33	620.28	4.60	1224.70	10	118.4	1.6

质谱测定技术见参考文献(Du et al., 2004)。

3 测试结果

3.1 锆石测年结果

ZK1612 中含矿石英闪长玢岩的锆石数量多, 粒度大小在 $50\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}\sim 150\ \mu\text{m}\times 300\ \mu\text{m}$ 之间, 长宽比为 $4:1\sim 1.5:1$, 形态一般为柱状, 少数为浑圆状, 晶体完好, 均为无色透明自形晶, 发育韵律环带结构, 反映岩浆成因锆石的结构特点(图 4a)。其 Th/U 值在 $0.28\sim 0.74$ 之间, 集中于 $0.4\sim 0.6$ 范围内, 亦属于岩浆锆石的范畴(Crofu et al., 2003)。

显生宙之后的锆石采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄更接近其真实年龄(Compston et al., 1992)。对于本次样品, 测点共 25 个, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄区间为 $116.35\sim 124.75\ \text{Ma}$, 且主要集中分布于谐和曲线上或附近(图 4b), 说明锆石同位素体系未受干扰, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均值年龄($120.2\pm 1.0\ \text{Ma}$) 能代表含矿石英闪长玢岩的结晶年龄。

3.2 辉钼矿测年结果

辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果见表 1, ^{187}Re 含量为 $230.5\sim 1227\ \mu\text{g/g}$, ^{187}Os 含量为 $452.7\sim 2441\ \text{ng/g}$ 。辉钼矿模式年龄分布于 $117.8\sim 119.4\ \text{Ma}$

内, 平均模式年龄为($118.45\pm 0.76\ \text{Ma}$) ($\text{MSWD}=0.33$)。在 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 图解上, 样品拟合较好, 形成一条良好的等时线, 其等时线年龄为($119.0\pm 1.4\ \text{Ma}$) ($\text{MSWD}=0.34$), 等时线年龄与加权平均年龄误差范围内的一致, 显示了数据的可靠性(图 5a, b)。

4 讨论

4.1 成岩成矿时代

铁格隆南矿区成矿元素以铜为主, 伴生金、银, 深部可见钼矿化, 符合斑岩-浅成低温热液型矿床成矿元素的空间分布特征。根据野外地质编录, 钼与铜、金、银元素成矿同属该斑岩-浅成低温热液系统, 所以本次实验获得的辉钼矿等时线年龄($119.0\pm 1.4\ \text{Ma}$) 可代表矿床的成矿年龄。实验获得的石英闪长玢岩 LA-ICP-MS 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为($120.2\pm 1.0\ \text{Ma}$), 成岩成矿年龄近于一致, 成矿略晚于成岩, 表明矿床形成于早白垩世且二者属于同一成岩成矿系统。

以上成岩成矿年龄与位于矿区南西 $3\ \text{km}$ 外的多不杂、波龙斑岩型铜金矿床的成岩成矿年龄一致: 余宏全等(2009)通过 SHRIMP 锆石 U-Pb 以及辉钼矿 Re-Os 同位素测年确定多不杂的含矿斑岩成岩年龄

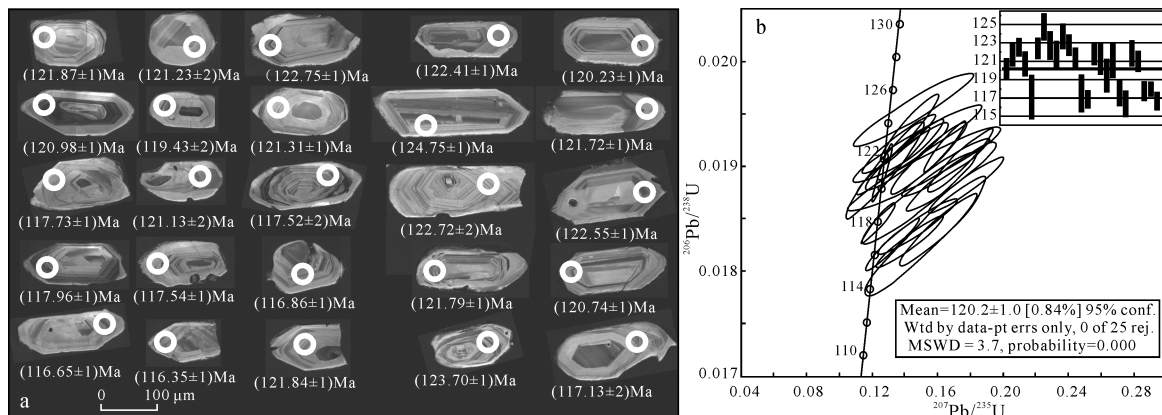


图 4 铁格隆南含矿石英闪长玢岩锆石阴极发光和测试点位图(a)以及锆石 U-Pb 谐和图(b)

Fig. 4 Cathodoluminescence images as well as test positions of zircons in mineral-bearing quartz diorite porphyry from the South Tiegulong deposit (a) and concordia diagram for zircon U-Pb isotopic dating (b)

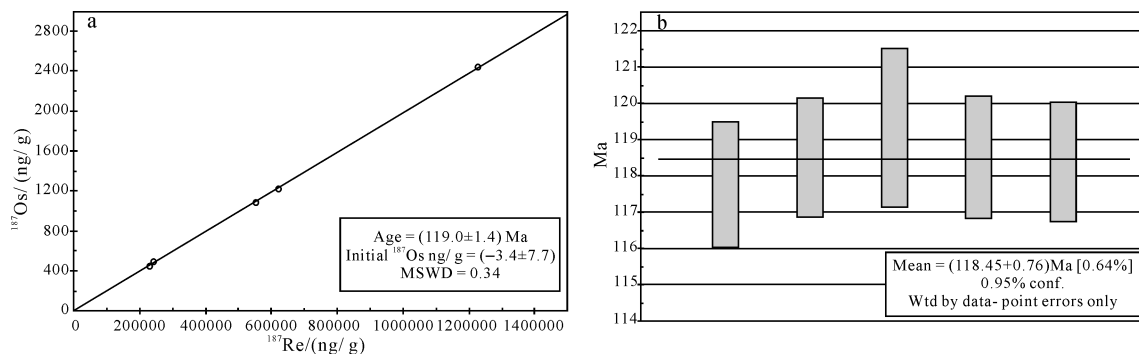


图 5 铁格隆南矿区辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄(a)与加权平均年龄值图解(b)

Fig. 5 Isochron diagram (a) and weighted average model age(b) of Re-Os isotopes of molybdenite from the South Tiegulong deposit

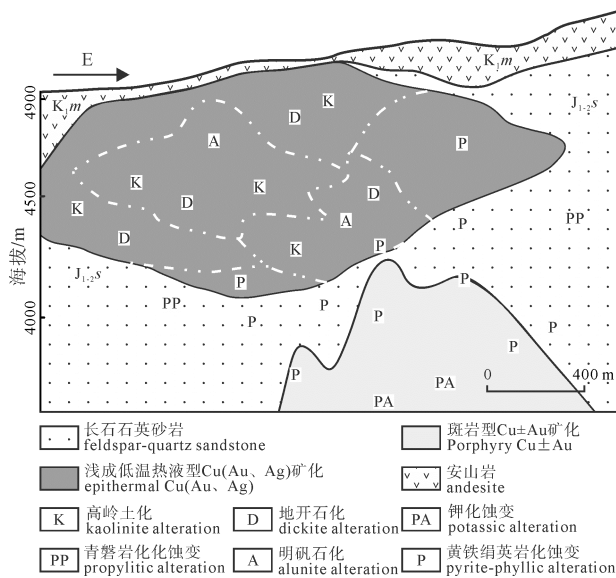


图6 铁格隆南矿区斑岩-浅成低温热液成矿系统示意图
Fig. 6 Diagrammatic diagram of porphyry-epithermal metallogenic system in the South Tiegelong deposit

为 (120.9 ± 2.4) Ma, 成矿年龄为 (118.0 ± 1.5) Ma; 祝向平等(2011)通过辉钼矿 Re-Os 同位素测年得到波龙斑岩铜金矿的成矿年龄为 (119.4 ± 1.3) Ma。李金祥等(2010)发现多不杂在 116 Ma 左右还有期含矿斑岩侵入, 两期矿化叠加才成就了多不杂斑岩铜金矿床。该时间正好也是铁格隆南花岗闪长斑岩的成岩时期(待刊资料), 而这一时期是否形成矿化, 需进一步探讨。但铁格隆南与多不杂、波龙在成岩成矿时间及岩浆侵位序次上的一致, 空间位置的相近, 表明三个矿床的成矿作用受控于统一的构造-岩浆成矿系统, 且根据铁格隆南的矿床类型及矿化特征, 推测铁格隆南浅成低温热液型 Cu(Au、Ag)矿体深部应隐伏有大型的斑岩型铜-金矿体, 与其共同构成一个斑岩-浅成低温热液成矿系统(图 6)。

4.2 成矿物质来源

Re 在地幔和地核中比在地球其他各圈层中有更富集的趋势, 通常各矿床中与地幔成矿物质有生成联系的辉钼矿有较高的 Re 含量, 而与壳源成矿物质有成因联系的辉钼矿含 Re 较低(Foster et al., 1996; Stein et al., 1998), 因此, 辉钼矿中 Re 含量可以指示成矿物质的来源。Mao 等(1999)通过对比中国各主要含钼矿床中辉钼矿 Re 含量, 提出来源于地幔、壳幔混合和地壳的辉钼矿 Re 含量各降低一个数量级($n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$)。铁格隆南铜(金、银)矿的辉钼矿 Re 含量变化于 $366 \times 10^{-6} \sim 1952 \times 10^{-6}$, 平均 913×10^{-6} , 与多不杂、波龙辉钼矿 Re 含量相似(余宏全等, 2009; 祝向平等, 2011), 预示铁格隆南以及多不杂、波龙等矿集区内矿床的成矿物质来源于地幔或以地幔物质为主, 巨量金属物质的聚集可

能与壳幔边界岩浆的混染作用有关。

4.3 成矿动力学背景浅析

班公湖—怒江缝合带是条横贯青藏高原中部的重要构造缝合带, 它西起班公湖, 向东经改则、东巧、丁青、碧土, 向南与昌宁—孟连带相接(潘桂棠等, 1997), 其演化过程与矿床的形成密切相关。关于班公湖—怒江洋的俯冲方向, 有向北、向南、南北双向俯冲等多种观点。随着研究的不断深入, 其向北俯冲的事实已日趋清晰, 而对于特提斯洋盆的具体闭合时间, 还存在晚侏罗世(曲晓明等, 2013); 晚侏罗世末—早白垩世初(陈玉禄等, 2002), 早白垩世之后(李光明等, 2011)等不同观点, 以至于对该带成矿作用的大地构造背景还有不同的认识。关于斑岩成矿系统的动力学背景问题, Richards(2009)发现除了形成于俯冲阶段的岛弧型斑岩铜矿外, 斑岩型铜±钼±金矿床和相关热液型金矿也可以在板块俯冲及其之后的各阶段形成。其中, 大陆环境斑岩铜矿在青藏高原冈底斯大量发育(Hou et al., 2009)。相比之下, 多龙地区成矿作用研究还处于起步阶段。李金祥等(2008)对多不杂斑岩铜金矿床岩石学研究后, 认为多不杂的含矿斑岩具有埃达克岩性质, 并与高 Nb 玄武岩空间密切共生, 表现为一套“埃达克岩质交代的火山岩系列”, 代表了岛弧俯冲构造背景。李光明等(2011)发现多龙地区广泛出露的早白垩纪火山岩组合具有增生弧的特征。铁格隆南作为与多不杂、波龙同时代形成的矿床, 本次工作亦获得该矿床花岗闪长斑岩的岩石地球化学分析数据, 在 Pearce 等(1984)的构造环境判别图解上, 样品落在岛弧火山岩区域(待刊)。但是, 由于目前对于多龙地区 120 Ma 左右构造环境的认识分歧较大, 仅从岩石地球化学的角度很难准确地判断矿床形成的区域构造背景, 因此本文暂不做构造背景的定论。但不可否认的是, 中生代以来班公湖—怒江洋俯冲作用和增生造山作用, 在羌塘地体南缘诱发了大量岩浆活动, 在洋壳组分的参与下, 形成了大规模的铜、金成矿作用。

5 结论

1) 通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 获得铁格隆南石英闪长玢岩成岩年龄 (120.2 ± 1.0) Ma; 辉钼矿 Re-Os 同位素测年获得辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 (119.0 ± 1.4) Ma, 说明铁格隆南浅成低温热液型铜(金、银)矿床成岩成矿于早白垩世, 成矿稍晚于成岩, 与多不杂、波龙等斑岩型铜金矿床成岩成矿时代一致, 表明其成矿作用受控于统一的构造-岩浆成矿系统。

2)铁格隆南铜(金、银)矿床辉钼矿 Re 含量变化于 $366 \times 10^{-6} \sim 1952 \times 10^{-6}$ 之间, 平均 913×10^{-6} , 与多不杂、波龙辉钼矿 Re 含量相似, 显示矿床的成矿物质来源于地幔或以地幔物质为主, 巨量金属物质的聚集可能与壳幔边界岩浆作用的混染有关。

3)中生代以来班公湖—怒江洋俯冲作用和增生造山作用, 在羌塘地体南缘诱发了大量岩浆活动, 在洋壳组分的参与下, 形成了大规模的铜、金成矿作用。

致谢: 本文在成文过程中得到项目团队和西藏地质五队人员的支持和帮助, 在此深表谢意! 感谢中国铝业矿产资源有限公司为笔者的野外工作和室内工作提供的资助。同时感谢编辑老师以及审稿专家为本文提出的宝贵意见。

参考文献:

- 陈玉禄, 江元生. 2002. 西藏班戈-切里错地区早白垩世火山岩的时代确定及意义[J]. 地质力学学报, 8(1): 43-49.
- 段志明, 李光明, 张晖, 段瑶瑶. 2013. 西藏班公湖-怒江缝合带北缘多龙矿集区晚三叠世侏罗纪增生杂岩结构及其对成矿地质背景的约束[J]. 地质通报, 32(5): 742-750.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 彭智敏, 张璋. 2011. 班公湖-怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 30(8): 1261-1274.
- 耿全如, 彭智敏, 张璋, 潘桂棠, 王立全, 关俊雷, 贾宝江, 刁志忠. 2012. 班公湖-怒江成矿带及邻区特提斯演化与成矿地质背景[M]. 北京: 地质出版社.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 28(4): 481-492.
- 李光明, 段志明, 刘波, 张晖, 董随亮, 张丽. 2011. 西藏班公湖-怒江结合带北缘多龙地区侏罗纪增生杂岩的特征及意义[J]. 地质通报, 30(8): 1256-1260.
- 李光明, 李金祥, 秦克章, 张天平, 肖波. 2007. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿床的高温高盐高氧化成矿流体: 流体包裹体证据[J]. 岩石学报, 23(5): 935-952.
- 李金祥, 李光明, 秦克章, 肖波. 2008. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代: 对成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报, 24(3): 531-543.
- 李金祥, 秦克章, 李光明, 张天平, 肖波, 赵俊兴, 陈雷. 2010. 西藏班公湖带多龙超大型富金斑岩铜矿床的岩浆-热液演化: U-Pb 和 Ar-Ar 年代学的证据[J]. 矿床地质, 29(增刊): 460-461.
- 李玉彬, 钟婉婷, 张天平, 陈华安, 李玉昌, 陈红旗, 范安辉. 2012. 西藏改则县波龙斑岩型铜金矿床地球化学特征及成因浅析[J]. 地球学报, 33(4): 579-587.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 颜仰基, 许效松, 徐强, 江新胜, 吴应林, 罗建宁, 朱同兴, 彭勇民. 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 曲晓明, 辛洪波, 杜德道, 陈华. 2013. 西藏班公湖-怒江缝合带中段 A-型花岗岩的岩浆源区与板片断离[J]. 地质学报, 87(6): 759-772.
- 任纪舜, 肖黎薇. 2004. 1:25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J]. 地质通报, 23(1): 1-11.
- 余宏全, 李进文, 马东方, 李光明, 张德全, 丰成友, 屈文俊, 潘桂棠. 2009. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 737-746.
- 唐菊兴, 孙兴国, 丁帅, 王勤, 王艺云, 杨超, 陈红旗, 李彦波, 李玉彬, 卫鲁杰, 张志, 宋俊龙, 杨欢欢, 段吉琳, 高轲, 方向, 谭江云. 2014. 西藏多龙矿集区发现浅成低温热液型铜(金银)矿床[J]. 地球学报, 35(1): 6-10.
- 王少怀, 裴荣富, 曾宪辉, 邱小平, 魏民. 2009. 再论紫金山矿田成矿系列与成矿模式[J]. 地质学报, 83(2): 145-157.
- 张德全, 李大新, 赵一鸣, 陈景河, 李子林, 张克尧. 1991. 福建紫金山矿床——我国大陆首例石英-明矾石型浅成低温热液铜-金矿床[J]. 地质论评, 37(6): 481-491.
- 中国地质科学院矿产资源研究所. 2014. 西藏自治区改则县铁格隆南铜(金)矿床资源储量评估报告[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 王立全, 廖忠礼, 赵志丹, 董国臣, 周长勇. 2006. 冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束[J]. 岩石学报, 22(3): 534-546.
- 祝向平, 陈华安, 马东方, 黄瀚霄, 李光明, 李玉彬, 李玉昌. 2011. 西藏波龙斑岩铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 27(7): 2159-2164.

References:

- CHEN Yu-lu, JIANG Yuan-sheng. 2002. Age and Significance of Volcanic Rock of early Cretaceous in the Bange-Qielicuo Area in Tibet[J]. Journal of Geomechanics, 8(1): 43-49(in Chinese with English abstract).
- COMPSTON W, WILLIAMS I S, KIRSCHVINK J L, ZHANG Z C, MA G G. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale[J]. Journal of the Geological Society, 149(2): 171-184.
- CROFU F, HANCHAR J M, HOSKIN P W O, KINNY P. 2003. Atlas of zircon textures[J]. Reviews Mineral Geochemistry, 53: 469-495.
- DING L, KAPP P, YIN A, DENG W M, ZHONG D L. 2003. Early Tertiary volcanism in the Qiangtang terrane of central Tibet: evidence for a transition from oceanic to continental subduction[J]. Journal of Petrology, 44: 1833-1865.
- DU A D, WU S Q, SUN D Z, WANG S X, QU W J, MARKEY R, STAIN H, MORGAN J, MALINOVSKIY D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC[J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41-52.
- DUAN Zhi-ming, LI Guang-ming, ZHANG Hui, DUAN Yao-yao. 2013. The formation and its geologic significance of Late Triassic-Jurassic accretionary Complexes and constraints on metallogenic and geological settings in Duolong porphyry copper gold ore concentration area, northern Bangong Co-

- Nujiang suture zone, Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 32(5): 742-750(in Chinese with English abstract).
- FOSTER J G, LAMBERT D D, FRICK L R, MAAS R. 1996. Re-Os isotopic evidence for genesis of Archean nickel ores from uncontaminated komatiites[J]. Nature, 382: 703-706.
- GENG Quan-ru, PAN Gui-tang, WANG Li-quan, PENG Zhi-min, ZHANG Zhang. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co-Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 30(8): 1261-1274(in Chinese with English abstract).
- GENG Quan-ru, PENG Zhi-ming, ZHANG Zhang, PAN Gui-tang, WANG Li-quan, GUAN Jun-lei, JIA Bao-jiang. 2012. Tethyan evolution and mineralization geological background of Bangong Co-Nujiang metallogenic belt and its adjacent region[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- GIRARDEAU J, MARCOUX J, ALLEGRE C J, BASSOULLET J P, TANG Y K, XIAO X C, ZAO Y G, WANG X B. 1984. Tectonic environment and geodynamic significance of the Neo-Cimmerian Donqiao ophiolite, Bangong-Nujiang suture zone, Tibet[J]. Nature, 307(5946): 27-31.
- HEDENQUIST J W, MATSUHISA Y, IZAWA E, WHITE N C, GIGGENBACH W F, AOKI M. 1994. Geology, Geochemistry and origin of high sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu District, Japan[J]. Economic Geology, 89(1): 1-30.
- HOU Ke-jun, LI Yan-he, TIAN You-rong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS[J]. Mineral Deposits, 28(4): 481-492(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, YANG Zhi-ming, QU Xiao-ming, MENG Xiang-jin, LI Zhen-qing, BEAUDOIN G, RUI Zong-yao, GAO Yong-feng, ZAW K. 2009. The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen[J]. Ore Geology Reviews, 36(1-3): 25-51.
- HSÜ K J, PAN G T, SENGOR A M C. 1995. Tectonic Evolution of the Tibetan Plateau: A Working Hypothesis Based on the Archipelago Model of Orogenesis[J]. International Geology Review, 37: 473-508.
- KAPP P, MURPHY M A, YIN A, HARRISON T M, DING L, GUO J H. 2003. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet[J]. Tectonics, 22(4): 3-13-23.
- LI Guang-ming, DUAN Zhi-ming, LIU Bo, ZHANG Hui, DONG Sui-liang, ZHANG Li. 2011. The discovery of Jurassic accretionary complexes in Duolong area, northern Bangong Co-Nujiang suture zone, Tibet and its geologic significance[J]. Geological Bulletin of China, 30(8): 1256-1260(in Chinese with English abstract).
- LI Guang-ming, LI Jin-xiang, QIN Ke-zhang, ZHANG Tian-ping, XIAO Bo. 2007. High temperature, salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Banggonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(5): 935-952(in Chinese with English abstract).
- LI J X, QIN K Z, LI G M, RICHARDS J P, ZHAO J X, CAO M J. 2014. Geochronology, geochemistry, and zircon Hf isotopic compositions of Mesozoic intermediate-felsic intrusions in central Tibet: Petrogenetic and tectonic implications[J]. Lithos, 198-199: 77-91.
- LI Jin-xiang, LI Guang-ming, QIN Ke-zhang, XIAO Bo. 2008. Geochemistry of porphyries and volcanic rocks and ore-forming geochronology of Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in Bangonghu belt, Tibet: Constrains on metallogenic tectonic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(3): 531-543(in Chinese with English abstract).
- LI Jin-xiang, QIN Ke-zhang, LI Guang-ming, ZHANG Tian-ping, XIAO Bo, ZHAO Jun-xing, CHEN Lei. 2010. Magmatic-hydrothermal evolution of Duolong Super-Large Gold-Rich Porphyry Copper Deposit in bangonghu belt, Tibet: Evidence from the Geochronology of U-Pb and Ar-Ar[J]. Mineral Deposits, 29(s1): 460-461(in Chinese with English abstract).
- LI Yu-bin, ZHONG Wan-ting, ZHANG Tian-ping, CHEN Hua-an, LI Yu-chang, CHEN Hong-qi, FAN An-hui. 2012. Geochemical Characteristics and Genesis of the Bolong Porphyry Copper-Gold Deposit in Gerze County, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 579-587(in Chinese with English abstract).
- MAO J W, ZHANG Z C, ZHANG Z H, DU A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63: 1815-1818.
- MATTE P, TAPPONNIER P, ARNAUD N, BOURJOT L, AVOUAC J P, VIDAL P, LIU Q, PAN Y S, WANG Y. 1996. Tectonics of Western Tibet, between the Tarim and the Indus[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 142: 311-330.
- METCALFE I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 66: 1-33.
- PAN Gui-tang, CHEN Zhi-liang, LI Xing-zhen, YAN Yang-ji, XU Xiao-song, XU Qiang, JIANG Xin-sheng, WU Ying-lin, LUO Jian-ning, ZHU Tong-xing, PENG Yong-min. 1997. The geological structure evolution of the east tethyan[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- PAN Gui-tang, WANG Li-quan, LI Rong-she, YUAN Si-hua, JI Wen-hua, YIN Fu-guang, ZHANG Wan-ping, WANG Bao-di. 2012. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 53: 3-14.
- PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks[J]. Journal of Petrology, 25: 956-983.
- QU Xiao-ming, XIN Hong-bo, DU De-dao, CHEN Hua. 2013.

- Magma Source of the A-Type Granite and Slab Break-Off in the Middle Segment of the Bangonghu-Nujiang Suture, Tibet Plateau[J]. *Acta Geological Sinica*, 87(6): 759-772(in Chinese with English abstract).
- REN Ji-shun, XIAO Li-wei. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1:250000 geological mapping[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- RICHARDS J P. 2009. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere[J]. *Geology*, 37(3): 247-250.
- SHE Hong-quan, LI Jin-wen, MA Dong-fang, LI Guang-ming, ZHANG De-quan, FENG Cheng-you, QU Wen-jun, PAN Gui-tang. 2009. Molybdenite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of Duobuza porphyry copper deposit in Tibet and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 28(6): 737-746 (in Chinese with English abstract).
- SILLITOE R H, HEDENQUIST J W. 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits[J]. *Society of Economic Geologists Special Publication*, 10: 1-29.
- SRIMAL N. 1986. India-Asia collision: Implications from the geology of the eastern Karakoram[J]. *Geology*, 14: 523-527.
- STEIN H J, SUNDBLAD K, MARKEY R, MORGAN J W, MOTUZA G. 1998. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kiviso, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania: testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting[J]. *Mineralium Deposita*, 33: 329-345.
- TANG Ju-xing, SUN Xing-guo, DING Shuai, WANG Qin, WANG Yi-yun, YANG Chao, CHEN Hong-qi, LI Yan-bo, LI Yu-bin, WEI Lu-jie, ZHANG Zhi, SONG Jun-long, YANG Huan-huan, DUAN Ji-lin, GAO Ke, FANG Xiang, TAN Jiang-yun. 2014. Discovery of the Epithermal Deposit of Cu (Au-Ag) in the Duolong Ore Concentrating Area, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 35(1): 6-10(in Chinese with English abstract).
- WANG Shao-huai, PEI Rong-fu, ZENG Xian-hui, QIU Xiao-ping, WEI Min. 2009. Metallogenic Series and Model of the Zijinshan Mining Field[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(2): 145-157(in Chinese with English abstract).
- ZHANG De-quan, LI Da-xin, ZHAO Yi-ming, CHEN Jing-he, LI Zi-lin, ZHANG Ke-yao. 1991. The Zijinshan deposit: the first example of Quartz-Alunite type epithermal deposits in the continent of China[J]. *Geological Review*, 37(6): 481-491(in Chinese with English abstract).
- Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. 2014. Resources reserves report of South of Tiegelong copper(gold) deposit in Gaize county, Tibet autonomous region[R]. Beijing: Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- ZHU Di-cheng, PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, WANG Li-quan, LIAO Zhong-li, ZHAO Zhi-dan, DONG Guo-chen, ZHOU Chang-yong. 2006. Late Jurassic-Early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdese: New insights from volcanic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534-546(in Chinese with English abstract).
- ZHU Xiang-ping, CHEN Hua-an, MA Dong-fang, HUANG Han-xiao, LI Guang-ming, LI Yu-bin, LI Yu-chang. 2011. Re-Os dating for the molybdenite from Bolong porphyry copper-gold deposit in Tibet, China and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2159-2164(in Chinese with English abstract).